

Fuzzy 이론과 그 응용

홍 두 표

〈현대선박해양연구소 부소장〉

〈목 차〉

서 언

1. 퍼지이론의 소개
2. 퍼지이론의 개념과 연산
3. 퍼지이론의 응용

결 언

서 언

퍼지(fuzzy)이론이 실용화되고 있다. 국제적으로 퍼지이론 및 응용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 국내에서도 세탁기, 냉장고, 선풍기등 가전제품을 중심으로 퍼지응용 제품이 이룬 연구를 앞서서 일반의 관심을 끌기 시작하였다. 그러나 원래 애매하고 불확실한 환경속에서도 사물을 판단하고 사고할 수 있는 사람의 독특한 능력을 모델링하고 분석할 수 있다는 퍼지이론은 이러한 가전제품들에서만 진가를 발휘할 수 있는 것인가? 우리 조선분야와 산업체에서는 어떠한 활용을 기대할 수 있을 것인가? 본고에서는 우선 퍼지이론의 개념과 원리를 간략히 정리하여 소개하고, 퍼지이론이 가장 활발히 응용되고 있는 퍼지제어, 퍼지전문가 시스템, 퍼지 정보처리등 분야에서의 응용사례들을 살펴보며 우리 조선분야에서

의 응용 가능성을 생각해 보고자 한다.

1. 퍼지이론의 소개

1.1 퍼지란 무엇인가

“사람은 생각하기 때문에 존재한다“ 라고 말한 철학자도 있듯이 인간은 사고(思考)하는 존재이며, 이러한 사고과정은 언어로서 구성되어 있다. 즉 사고과정이란 다시 말하면 언어의 계열화라고도 말할 수 있는 것이다. 그런데 이러한 인간의 언어는 숫자와 수학기호로 표시되는 수학적들과는 달라서 필연적으로 ‘애매함’을 내포하고 있다. 이 애매함이 퍼지이론에서 퍼지니스(fuzziness)라고 불리워지는 것이다.

지금까지 우리가 “불확실성(uncertainty)” 이라고 말하는 것은 구조의 신뢰성이나 신호분석의 잡음등에서 다루는 것들처럼 어떤 확률적 불확실성을 말하는 것이다. 예를 들면 “내일 비가 올 확률이 몇 %다” 라든가, “선박이 만날 수 있는 파고의 확률” 등과 같이 우연성(randomness)의 성질을 띄고 있는 것들로서 이를 정확히 측정을 한다든가, 시간이 지나길 기다려보면 확실하게 될 수도 있는 것들이다. 그러나 퍼지이론에서 말하는 퍼지니스는 이와 달리 언어의 의미와 개념정의, 또는 인간의 감각등에 내포되어 있는 본질적인 애매함을 말한다. 예를 들면 “그 사람이 젊다” 또는 “약간 크다” 등 정확히 측정하여 그 경계를 지을 수

없는 애매함을 말하는 것이다.

로보트, 공장자동화등 공학분야에 있어서는 물론이고, 거의 모든 활동 분야에서 우리는 자동화, 전산화라는 이름으로 컴퓨터를 이용하여 인간의 능력을 대체하거나 확장하려는 노력을 기울이고 있다. 그러나 지금까지의 이러한 노력은 주로 인간의 능력중에서 단순한 기억과 수치계산 능력 또는 “Yes or No” 등 2가(two-value)판단을 컴퓨터로 하여금 신속히 대량으로 수행하도록 하는 것이 한계였다고 할 수 있다. 이러한 단순한 능력을 넘어서 인간의 감각, 경험적인 지식, 언어적 판단까지도 컴퓨터로 하여금 효과적으로 대신할 수 있도록 하는 것이 최근 관심을 끌고 있는 인공지능(artificial intelligence)연구인 것이다. 따라서 실질적인 인공지능이 달성되기 위해서는 인간 언어(판단)요소의 “애매함”을 성공적으로 다룰 수 있어야 할 것이 필연적으로 요구됨을 쉽게 알 수 있다. 이러한 이유로 일부 학자들은 “인간의 지능을 해명할 수 있는 열쇠는 퍼지에 있다”고 까지 주장하고 있는 것이다.

1.2 퍼지연구의 역사와 현황

퍼지이론의 연구는 1965년 이란 태생의 California 대학 교수인 Zadeh가 퍼지집합(fuzzy set)의 논문을 발표한 것을 시초로 한다. 일설에 의하면 Zadeh교수의 부인이 매우 미인이어서 그녀의 아름다운 정도를 표현하기 위하여 퍼지이론을 생각해 냈다고 전해진다. 물론 그전에도 불확실성을 다루는 기법이 아주 없었던 것은 아니지만, 일반 집합론을 확장한 개념으로서의 퍼지 집합론을 주장한 것은 Zadeh 교수가 시초이다. 그는 이어서 1973년에 퍼지추론의 논문을 발표하였다. 1974년에는 London대학의 Mamdani 교수가 이 퍼지추론을 제어시스템에 적용되도록 변형하여 실제로 스팀엔진의 자동운전 실험에 적용한 것이 퍼지제어(fuzzy control)의 시초가 되었다.(표 1 참조)

산업응용에 있어서 퍼지제어 시스템의 제 1호는 덴마크의 Smith사가 1980년부터 가동을 개시한 시멘트로(cement kiln)가 될 것이다. 이

무렵부터는 일본을 중심으로 열차의 퍼지제어 자동운전(1987년 센다이 지하철), 정수장 약품 주입의 퍼지제어등 기업체에서의 퍼지제어 적용이 활발해지고, 1986년 경부터 카메라, 냉장고, 세탁기등 가정용 가전제품에 까지 그 응용

표 1. 퍼지이론의 발전사

1965년	퍼지집합의 제안(Zadeh)
1968년	퍼지 알고리즘의 제안(Zadeh)
1970년	퍼지 의사결정 최적화의 제안(Bellman과 Zadeh)
1972년	퍼지측도, 퍼지적분의 제안(Sugeno) 애매시스템연구회 발족(일본)
1973년	언어처리(퍼지추론의 기초)의 제안(Zadeh)
1974년	퍼지제어의 제안(Mamdani)
1975년	근사추론 제안(Zadeh) 미일 과학협력 세미나(퍼지집합과 그 응용)
1976년	퍼지관계 방정식의 해법(Sanchez)
1978년	국제학술 Fuzzy Sets and Systems 발간
1980년	퍼지제어의 실용화(F.L.Smith사) 애매과학연구회 발족(일본)
1984년	국제 퍼지시스템학회(IFSA)의 설립 퍼지추론용 IC시작(Yamakawa)
1985년	IFSA 제 1 회 학술발표대회(Spain) 퍼지추론용 VLSI칩 개발(AT & T, Togat) 퍼지제어 실용화(Hitachi, Fujidenki) 제 1 회 퍼지시스템 심포지움 개최(Kyoto) IFSA 일본지부 발족
1986년	범용 퍼지 컨트롤러 시판(일본) 퍼지추론의 하드웨어화 진전(미국, 일본)
1987년	IFSA 제 2 회 학술대회(일본) Sendai 지하철 제어(Hitachi)
1988년	퍼지시스템응용 국제 workshop 개최(일본)
1989년	LIFE(국제퍼지공학연구소)설립 일본 퍼지학회 설립 제 3 회 IFSA 학술대회(Seattle)
1990년	한국퍼지시스템연구회 발족

이 확대되어 최근에는 “퍼지제품이 아니면 팔 리지를 않는다”는 말까지 나오고 있다.

국제학회로는 1984년 국제 퍼지 시스템 학 회(IFSA)가 발족하였고, 일본에서는 1989년 통산성이 주도하여 60억엔이라는 거액을 들인 국제 퍼지 연구소를 설립하고 퍼지제어, 퍼지 컴퓨터 개발등의 프로젝트가 진행되고 있으며, 1989년 6월에는 일본 퍼지학회(SOFT)가 시작 되었다.

퍼지이론이 탄생한 미국에서는 이의 이론이 처음에는 거의 주의를 끌지 못했으나 일본에서 퍼지응용 성공사례가 많아짐에 따라 최근 3~4년 사이에 급속히 흥미를 보이기 시작하여, 미 항공우주국(NASA)에서는 우주 정거장에 스페이스 셔틀을 랑대부시키는데 응용하는 컴퓨터 모의 실험등을 수행하고 있다. 중국에서는 1985년에 광주대학에 세계 최초로 퍼지 시스템 공학 연구소가 설립되는 등 특히 젊은이 들 사이에 활발한 연구가 진행되고 있다고 전 해진다.

국내에서는 가전제품을 중심으로 산업적용이 먼저 확산되고 있는 가운데 이에 대한 학문적 연구 및 응용방법 연구의 필요성이 인식되어 1990년 12월 8일 약 300명의 전문가들이 모여 한국 퍼지 시스템 연구회(KFMS)가 창립총회를 가졌고 한국과학기술원 변증남 교수가 초대 회장에 선출되었다.

2. 퍼지이론의 개념과 연산

2.1 퍼지집합과 연산

(1) 퍼지집합(Fuzzy set)

사람은 갖가지의 수많은 경험으로부터 얻은 지식을 원래의 세밀한 데이터 그 자체로 기억 하는 것이 아니라 가능한한 적게 축약하여 윤곽이 애매한 말로 기술된 “간략하고 기억하기 쉬운 형태”로 해서 머릿속에 기억시킨다. 예를 들면 자동차를 운전한다고 할 때, “차의 속도가 50km/시 이면 10kg중, 45km/시 이면 15kg 중, …, 의 힘으로 가속기를 밟는다”고 기억하고 있는 사람은 아무도 없을 것이다. 그대신 “차의 속도가 좀 느리다 싶으면 가속기를 약간

밟아준다”와 같이 간단히 기억하기 쉬운 형태로 지식을 축적한다. 이와 같이 어떠한 상태를 경계가 애매한 언어로서(예를들면—조금, 보통, 매우, …등) 표현하는 것을 “퍼지집합”이라고 한다. 이렇게 어떤 상태가 정의된 퍼지집합에 대해서 각 요소들(member)이 어느정도로 그 퍼지집합에 소속되는가 혹은 일치하는 가의 정도를 나타내는 것을 소속도 함수(membership function)라고 부른다.

이제 X를 전체 요소(변수)들의 집합이라고 하자. 그러면 소속도 함수 μ_A 를 사용하여 퍼지 집합 A를 다음과 같이 정의한다.

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

이때 소속도 함수 $\mu_A(X)$ 는 X가 A에 속하는 정도를 의미하며 0에서 1사이의 값으로 표현 한다. 예를들어 “5보다 훨씬 큰 수들의 모임”이라는 집합을 보자

$$A = 0/-1 + 0/1 + 0/5 + 0.05/8 + 0.1/10 + 0.95/100 + 1/500$$

이러한 식으로 퍼지집합 A를 표시할 수 있는데 여기서 +기호는 더하기가 아니고 포함한다는 의미이며 이와 같이 퍼지집합에서는 소속도 함수값과 집합의 각 요소들을 동시에 표시해야 한다. 만일 소속도 함수값을 0이나 1의 값으로만 한다면 이 퍼지집합은 일반집합(crisp set)과 동일하게 된다. 이것이 퍼지집합론이 일반집합론을 확장한 것이라 말하는 이유이다(Fig. 1 참조). 또 위식에서 보듯이 소속도 함수는 임의로 정의할 수 있는 것으로서 퍼지 집합의 효율은 소속도 함수의 적합성에 달려있다는 것을 쉽게 알 수 있을 것이다.

(2) 퍼지집합의 연산

일반집합의 연산과 같은 개념을 사용하여 퍼지 집합의 연산을 정의할 수 있다.

(가) 합집합(union) : $A \cup B$ 로 표시할 수 있고

구체적인 연산은

$$\text{논리덧셈 } x \vee y = \max\{x, y\}$$

$$\text{대수덧셈 } x + y = x + y - xy$$

$$\text{한계덧셈 } x \oplus y = 1 \wedge (x + y)$$

들 중에서 하나를 선택할 수 있다.

(나) 교집합(intersection) : $A \cap B$ 로 표시하고

구체적인 연산은

논리곱셈 $x \wedge y = \min\{x, y\}$

대수곱셈 $x \cdot y = xy$

한계곱셈 $x \odot y = 0 \vee (x + y - 1)$

들 중에서 하나를 선택하지만 이 밖에도 학자에 따라 여러가지 연산식을 제안하고 있다.

(대) 여집합(complement) : $\bar{A} = 1 - \mu_A(x)$

(라) 부분집합(subset) : $A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$

이외에도 몇가지 연산방법을 더 정의할 수 있겠으나 여기서는 생략하고 한가지 주의할 것은 일반집합론에서와는 달리 $A \cup \bar{A} \approx X$ 이며 $A \cap \bar{A} \approx \emptyset$ (공집합)이다.

(3) 기타 중요개념

퍼지집합 이론을 이해하기 위하여 필요한 몇가지 중요한 개념을 더 소개하면 다음과 같다.

(가) α -cut

퍼지집합 A의 α -cut는 $A_\alpha = \{x \in X : \mu_A(x) \geq \alpha\}$, 즉 A_α 는 소속도 함수값이 α 보다 큰 요소들의 집합이며 이는 일반집합(crisp set)이고 α 는 당연히 0과 1사이의 값일 수 밖에 없다.

(나) A의 support

$\text{supp}(A) = \{x \in X : \mu_A(x) > 0\}$, 즉 소속도 함수값이 0보다 큰 요소들의 일반집합으로 만일 그래프를 그린다면 소속도 함수값이 0보다

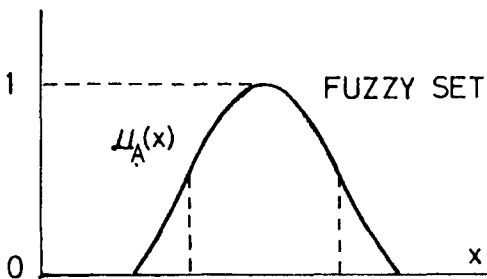
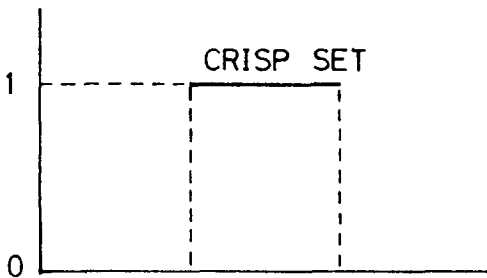


Fig.1. 일반집합과 퍼지집합

큰 횡축(변수)의 범위이다.

(대) A의 높이(height)

$\text{hgt}(A) = \bigvee_X \mu_A(x)$, 즉 소속도 함수값 중에서 제일 큰 값을 의미하며 이 값 $\text{hgt}(A) = 1$ 일때 A는 정규화(normalized)되었다고 한다.

(라) 퍼지수(fuzzy number)

퍼지수 A는 두가지 성질 즉 첫째로 $\mu_A(x_0) = 1$ 이 되는 실수 x_0 가 유일하게 존재하고 둘째로 μ_A 는 토막적으로(piecewise)연속이라는 조건을 만족하는 실수집합 R에서의 볼록 퍼지집합을 말한다.

(마) 퍼지측도(fuzzy measure)

퍼지측도는 퍼지집합과는 다른 개념으로서, 어떤 요소가 어떤 일반 부분집합(crisp subset)에 속하는 증거의 정도를 나타낸다. 예를들면 어떤 사람의 나이를 모른채 외양만을 보고 그 사람이 “40대(40세에서~49세)에 속할 것이라고 하는 믿음이나 증거의 측도”를 나타내는 경우이다.

2.2 퍼지관계와 퍼지함수

(1) 퍼지관계(fuzzy relation)

퍼지관계는 통상관계를 퍼지화시켰다고 볼 수 있으며 이 퍼지관계는 퍼지 추론에서의 조건문을 표현하는 중요한 수법이다. 이를 수학적으로 이야기 한다면 집합 X, Y에서 카테선곱(cartesian product) $X \times Y$ 의 부분집합 R을 “관계”라고 부른다. 이때 $(x, y) \in R$ 이면 x와 y는 관계가 있고 $(x, y) \notin R$ 이면 x와 y는 관계가 없다고 말한다. 이로부터 집합 X에서 집합 Y로의 퍼지관계 R은 카테선곱의 부분집합 $X \times Y$ 에서의 퍼지집합이라고 말할 수 있으며

$$\mu_R : X \times Y \rightarrow [0, 1]$$

이 되는 소속도 함수 μ_R 로 특성 지어진다. 이때 $\mu_R(x, y)$ 는 x와 y사이의 “관계정도(strength of the relation)”를 의미하게 된다. 만일 집합 X, Y가 유한집합이라면 이러한 퍼지관계를 행렬로 표현하는 것이 편리하다. 예를들어보자. 집합 $X = \{5, 7, 10\}$ 이고, $Y = \{3, 6\}$ 이라 하고, $R = \text{“}x \text{가 } y \text{보다 훨씬 큰 } (x, y) \text{들의 관계”}$ 라고 하면

$$\mu_R = \begin{array}{|c|c|c|} \hline x \setminus y & 3 & 6 \\ \hline 5 & 0.4 & 0.0 \\ \hline 7 & 0.6 & 0.1 \\ \hline 10 & 1.0 & 0.6 \\ \hline \end{array}$$

과 같이 퍼지관계를 표시할 수도 있다.

(2) 퍼지함수(fuzzy function)

퍼지함수는 일반 $y = f(x)$ 라는 함수관계를 애매하게 한 것이라고 이해할 수 있다. 예를 들어 “y는 대략적으로 f(x)”라고 생각하고 이를 G(f)라고 표시하면 소속도 함수를 일례로 다음과 같이 정의할 수 있다.(Fig. 2참조)

$$\mu_{G(f)}(x, y) = e^{-(y-f(x))^2}$$

이와같이 퍼지함수는 퍼지관계의 하나의 특수한 경우라고도 할 수 있다. 즉 “함수→관계→퍼지관계”와 같이 퍼지관계란 모든 함수와 관계를 확장한 개념으로 볼 수 있다.

(3) 퍼지관계의 합성

지금 $X \times Y$ 상의 퍼지관계를 R, $Y \times Z$ 상의 퍼지관계를 S라고 하면 R과 S의 합성 $R \circ S$ 는 다음과 같은 소속도 함수로 정의되는 $X \times Z$ 상의 퍼지관계가 된다.

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \bigvee_y \{ \mu_R(x, y) \wedge \mu_S(y, z) \}$$

이식에서 보인 합성은 \bigvee (max), \bigwedge (min)으로 표현하여 합성하고 있기 때문에 흔히 max-min 합성이라고 부른다. 그러나 이러한 합성연산은 여러가지로 일반화 시킬 수 있어서 필요에 따라 적당한 것을 선택하여 사용하는데 때에 따라 \bigwedge (min)대신에 여러가지 곱연산(\cdot , \odot , \wedge , ... 등)을 대체하여 사용하기도 한다. 이

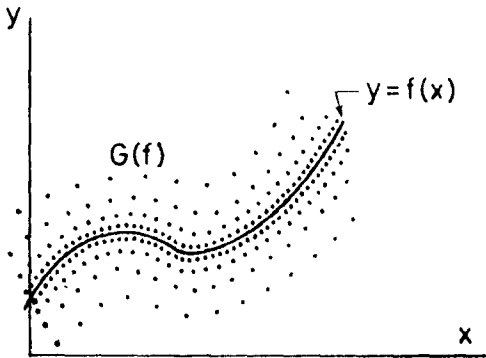


Fig.2. 퍼지함수관계, G(f)

퍼지관계의 합성은 행렬의 적(matrix product)과 매우 흡사하다. 다음에 합성연산의 한 예제를 보자. 퍼지관계 R과 퍼지집합 A가 다음과 같을 때, 즉

$$R : \begin{bmatrix} 0.4 & 0 \\ 0.6 & 0.1 \\ 1 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$A : [0.5, 0.3]$$

라고 하고, $B = R \circ A$ 를 max-min 합성연산으로 구해본다.

$$B : \begin{bmatrix} 0.4 & 0 \\ 0.6 & 0.1 \\ 1 & 0.6 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{(0.4 \wedge 0.5) \vee (0 \wedge 0.3)\} \\ \{(0.6 \wedge 0.5) \vee (0.1 \wedge 0.3)\} \\ \{(1 \wedge 0.5) \vee (0.6 \wedge 0.3)\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

2.3 퍼지논리 및 퍼지추론

(1) 퍼지논리(Fuzzy logic)

퍼지제어는 퍼지이론 중에 특히 퍼지논리의 사고방식을 응용하여 추론하는 것이다. 퍼지논리가 일반논리와 다른점은 퍼지논리로 취급하는 명제의 술어가 퍼지집합을 이용하여 나타내어지고 그 의미가 애매하다는 점이다. 이 퍼지논리에 대하여 생각하는 방식에도 여러가지가 있고 분명히 어느 것이어야 한다는 정의는 없다.

보통 논리학에 있어서 하나의 논리는 논리연산에 의해 결합된 명제의 진리치를 주는 방법과 추론의 규칙에 의해 특정지어진다. 그런데 퍼지논리에서는 명제를 일반적으로 “x는 A”와 같은 형식으로 나타낸다. 이때 A는 주어 x의 술어라고 불리워지고, 퍼지명제의 술어는 퍼지집합이기 때문에 “매우”, “약간” 등의 수식어가 붙는 것이 보통이다. 복합 명제중에서 특히 함의(implication), \rightarrow 로 결합된 명제는 “if-then”형의 제어 규칙으로서 퍼지제어에서 매우 중요하다. 이제 “x가 A라면 y는 B이다”라는 함의관계를 보자. 이는 “x는 A \rightarrow y는 B”라고 간단히 쓸 수 있고 A와 B로 구성되는 퍼지관계 R을 단지 $A \rightarrow B$ 라고 쓰면 이는 다시

$(x \text{는 } A \rightarrow y \text{는 } B) = [(x, y) \text{는 } A \rightarrow B]$
 로 고쳐 쓸 수 있다. 이러한 함의를 이용하여 가장 간단한 퍼지논리는 다음과 같은 형식이 된다.

전제 1 : $A \rightarrow B$ (If a tomato is red then the tomato is ripe)

전제 2 : $x \text{는 } A$ (This tomato is very red)

결론 : $y \text{는 } B$ (\therefore This tomato is very ripe)

퍼지논리에서는 일반 논리와 달리 A 와 A' 은 같지 않다. 이와 같은 형식의 논리를 modus ponens라고 부르며 퍼지논리에서는 이의 대우(對偶)인 modus tollens는 일반 논리에서처럼 항상 참이 되지 않는다.

(2) 퍼지추론(fuzzy reasoning)

퍼지추론이란 몇가지의 퍼지명제로부터 퍼지논리를 사용하여 어떤하나의 퍼지명제를 도출하는 과정이라고 말할 수 있다. 일반적으로 추론방법에는 전향추론(forward chaining)과 후향추론(backward chaining)의 방법이 있는데 전향추론은 주어진 상황에 해당하는 사실을 가지고 결론에 도달할 때까지 추론고리(inference chain)를 따라 추론하는 방법이고, 후향추론은 나타난 결론을 가지고 이에 해당하는 증거의 고리를 따라 역으로 추론하는 것이다. 종래의 기계고장진단이나 의료진단 등에 응용되는 전문가 시스템에서는 후향 추론방법을 주로 사용하고 있으나, 퍼지추론에 있어서는, 특히 퍼지제어에 적용되는 추론방법은 거의 전적으로 modus ponens에 따른 전향추론방법을 사용한다. 이 퍼지추론의 처리방법은 다시 직접법, 간접법, 혼합법 등으로 분류될 수 있으나 대부분 직접법—특히 퍼지제어에 있어서는—이 많이 사용된다. 이 직접법은 결론부를 퍼지수학적으로 직접 계산하는 방식이다. 즉,

전제 1 : $A \rightarrow B$

전제 2 : $X \text{는 } A'$

결론 : $B' = A' \circ (A \rightarrow B)$

구체적으로 B' 의 값을 연산하는 방법은 또 여러가지가 있다. 여기서는 Mamdani의 최소연산

법을 소개한다.

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B)$$

$$= A' \circ (A \times B)$$

로 하여

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \} \\ &= \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x) \} \wedge \mu_B(y) \end{aligned}$$

여기서

$$\omega = \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x) \} \text{라 놓으면}$$

$$\mu_{B'}(y) = \omega \wedge \mu_B(y) \text{로 계산된다.}$$

이에 대한 예제는 다음장 퍼지제어에서 자세히 다루도록 하겠다.

3. 퍼지이론의 응용

3.1 퍼지제어(Fuzzy control)

퍼지제어는 숙련자가 지니고 있는 경험이나 감동, 정성적인 지식을 “If~, then” 형식의 제어규칙을 정하고 이것을 수량화하는 것으로부터 시작하여 퍼지 추론에 의해 숙련자 이상의 제어성능을 발휘할 수 있도록 한 것이다.

(1) 퍼지제어의 특징

(가) 병렬형 제어

종래의 제어는 $u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 와 같은 형으로 어떤 시스템의 정보 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 을 입력하여 시스템의 특성함수 f 로서 조작량 u 를 연산하는 것이다. 그러나 이러한 함수관계는 매우 복잡할 경우가 많고, 실제적으로 이를 정확히 모델링한다는 것은 거의 불가능한 경우가 많으며, 뿐만 아니라 정확한 출력을 계산하기 위해서는 모든 입력정보 x_1, x_2, \dots, x_n 이 하나도 빠짐없이 정확하게 입력되어야 한다. 이에 반해서 퍼지제어에 의하면 시스템의 정확한 함수관계를 모르더라도 복수개의 if-then 형태의 경험적인 식으로 조작량 u 를 결정할 수 있는데 최대의 특징이 있다. 이것은 병렬형 제어라고도 부르며 이와같이 퍼지제어에서는 처음부터 전체적인 함수관계를 구한다는 방법을 버리고 복수개의 국소적 관계를 모은다는 방법을 취한다.

(나) 논리형 제어

퍼지제어 규칙은 if-then형의 논리적인 것

으로서 전문가적인 사고의 모델화수법으로서 매우 적합하다. 논리형이라는 것은 제어규칙의 전제부에 다양한 조건을 기술할 수 있어서 물리적으로 계측할 수 없는 변수, 예를들면 인간의 감각 등도 규칙의 조건을 정하는 변수로서 사용할 수 있다. 또한 논리형은 예외 처리에 적합하다. 시스템의 상태가 특별상황으로 된 경우라든가 제어목적이 변한 경우등의 예외적인 처리도 퍼지제어에서는 정상시의 제어와 똑같은 형식으로 다룰 수 있다.

(다) 언어적 제어

퍼지제어는 알고리즘이 일상언어에 대응이 되도록 기술되기 때문에 언어적 제어라고도 불린다. 이와같은 언어적 제어라는 특성 때문에 퍼지제어는 운전자와 대화형 제어로도 쉽게 만들 수 있고 또한 어느때, 어떤 규칙이, 어느정도로 관계하고 있는지를 쉽게 보여줄 수 있다는 장점이 있다.

(2) 퍼지제어 시스템의 구성

퍼지제어 시스템의 주요 구성요소로서는 다음과 같은 것들이 있다.

(가) 퍼지규칙베이스(fuzzy rule base)

퍼지규칙은 거의가 “if-then”형태로 되어있다. 이러한 규칙은 전문가의 경험이나 지식을 이용하여 구하기도 하고 자기 구성 제어기(self organizing controller)의 경우와 같이 시스템 스스로 학습에 의해 규칙을 구성 또는 변경토록 하는 방법이 있다.

(나) 퍼지추론기구(fuzzy inference engine)

퍼지규칙을 이용하여 퍼지입력에 대한 퍼지출력을 추론해 낸다. 퍼지제어에서는 주로 전방향 추론을 사용한다.

(다) 퍼지화기구(fuzzifier)

종래의 수치적 정보를 퍼지집합으로 변환하는 연산자이다. 소속도 함수는 범종 모양과 같은 곡선형을 사용하기도 하지만 주로 사용되는 것은 몇개의 변수에 대한 소속도 함수 값을 정한 후 그 사이의 변수 값에 대해서는 선형적으로 내삽하는 방법이다.

(라) 역퍼지화기구(defuzzifier)

퍼지집합으로 표시한 퍼지값으로부터 보통의 수치값을 얻는 변환 장치인데 역퍼지화의 구체

적인 연산방법중에서 흔히 사용되는 것은 소속도 함수 곡선내의 면적의 무게중심을 구하는 COG(center of gravity)법과 소속도 함수값이 최대인 변수들의 평균치를 취하는 MOM(mean of maximum)방법등이 있다.

(3) 퍼지제어 추론의 역제

이제 퍼지추론을 이용한 퍼지제어의 한 예로서 자동차의 속도제어를 보자.

전제 1 : (If)속도가 떨어지면, (Then)가속기를 밟는다.

전제 2 : 속도가 약간 떨어진다.

결 론 : 가속기를 가볍게 밟는다.

이의 추론과정은 Fig.3에서 보듯이 (a) “속도가 떨어진다(늦다)”의 소속도 함수 $\mu_A(x)$ 를 가정하고, (b) 가속기의 밟는 정도를 표시하는 소속도 함수 $\mu_B(y)$ 를 정의한다. 이제 (c) 관측된 대략적인 속도의 소속도 함수가 $\mu_A(x)$ 와 같을 때, (d) 위의 소속도 함수 $\mu_A(x)$ 와 $\mu_A(x)$ 의 교차부, 즉 $\{\mu_A(x) \wedge \mu_A(x)\}$ 는 그림의 빗금친 부분이다. 여기서 빗금친 부분의 최대치 즉 $\bigvee_x \{\mu_A(x) \wedge \mu_A(x)\}$ 는 ω 로 표시한 값이 된다. 이로부터 (e) 필요한 가속기 제어 소속도 함수는 $\mu_B(y) = \omega \wedge \mu_B(y)$ 로서 그림에 표시된 바와 같고, 여기서 역퍼지화를 하기 위하여 빗금친 부분의 중심을 구하면 y_0 로 표시된 양을 얻는다. 이 y_0 값이 가속기를 밟는 세기의 출력이 된다. 여기의 예는 “max-min 합성 중심법”이라고 부르는 가장 일반적인 방법을 사용한 것이지만, 앞에서 이미 언급한 것처럼 여러가지 다른 연산법을 채택할 수도 있는 것이다.

(4) 퍼지제어의 적용

세계에서 퍼지제어를 실제로 시작한 것은 1974년 London 대학의 Mamdani 교수가 연구실에서 만든 스팀엔진의 모형을 대상으로 한 보일러의 출구 압력과 엔진 속도를 일정하게 제어하는 실험이었다. 이 연구후에 퍼지제어는 덴마크에서 1980년 F.L.Smith사에 의해 전용 퍼지제어기가 제작되어 시멘트로의 제어로서 실용화 되었다. 이로부터 산업체에서의 퍼지제

어는 프랜트에서의 프로세스 제어에 가장 활발히 적용되기 시작했는데 이는 프랜트의 운전이 기존 제어방식으로서의 모델링이 너무 복잡하고 거의 불가능 했기 때문인데, 숙련 운전자를 위한 프랜트의 운전 매뉴얼을 보면 거의가 언어적으로 애매하게(fuzzy) 기술되어 있어 퍼지 제어에는 매우 적합하다는 것을 알 수 있다. 프랜트에서의 퍼지제어 적용사례로서는 후지전기·후지 Facom사의 정수장 응집제 투입제어기 개발이 있으며 이 밖에도 염소투입량 제어, 제철 프로세스, 유리로, 쓰레기 소각로의 연소 제어, 오수처리 프로세스 등에서 성공적으로 실용화 되었다.

다음으로 퍼지제어의 응용이 활발한 분야로서는 각종 기계장치의 자동운전을 들 수 있다. 일본 히다찌 제작소에서 개발한 열차의 퍼지 운전장치는 센다이 시의 지하철 운전제어에 사용되었는데 이외에도 컨테이너 크레인의 자동 운전, 터널굴착기계, 비행기의 오토-파일럿 장치 등 계속 성공 사례가 늘고 있다.

퍼지제어는 처음 커다란 것에 적용되기 시작하여 점점 작은 것으로 대상이 확대되어온 경향이 있는데, 작은 것은 이동 물체에 따라 자동조절하는 카메라를 비롯하여, 냉각기, 세탁기 등 가정용 기계제품들과, 자동용접 로봇이나

로봇 손의 물건을 집는 힘을 퍼지제어 하는 등의 생산 공작기계에서의 응용이 활발하다.

3.2 퍼지 전문가 시스템

(1) 전문가 시스템(Expert system)

전문가 시스템이란 특정분야에 관한 전문가의 지식을 습득하여 그것을 적절한 구조로 체계화하고 이를 사용하여 추론을 실행해서 사용자가 어떤 문제를 분석하고 판단하는데 도움을 주도록 하는 것이다. 이러한 목표를 이루기 위한 전문가 시스템의 주요 구성요소로서는 지식 획득과 지식표현에 의한 지식 베이스(knowledge base) 설정기능과, 논리적 추론기관(inference engine), 사용자 인터페이스(interface)와 같은 기능을 필요로 한다.

전문가 시스템의 지식 베이스에 포함되는 많은 정보가 부정확하고, 불완전하거나, 불확실하기 때문에 전문가 시스템에서는 이러한 정보도 다룰수 있어야 한다. 그러나 종래의 전문가 시스템은 주로 2가논리(two-valued logic) 또는 확률이론을 사용하고 있어서 이러한 불확실성을 다루는데 있어서는 본질적으로 부적합하다. 그것은 전문가 시스템에서 다루는 불확실성이 본질적으로 확률적(probabilistic)이기 보다는 가능적(possibilistic)이기 때문이다. 이러한 전문가 시스템의 지식표현과 추론과정에 있어서의 부정확성 및 불확실성을 효과적으로 다루기 위하여서는 퍼지 집합과 근사 추론에 기초를 둔 퍼지 논리를 사용하는 퍼지 전문가 시스템이 요구되는 것이다.

(2) 퍼지 전문가 시스템의 특징

퍼지 전문가 시스템을 종래의 전문가 시스템과 비교하여 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(가) 지식 엔지니어의 도움이 필요없다.

전문가 시스템을 구축하려면 우선 전문가의 지식과 노우하우(knowhow)등을 수집하여 그것을 정리하고 체계화시켜서 지식 베이스를 구성한다. 일반적으로 전문가는 지식과 노우하우를 명료한 언어나 수식으로서 갖고 있는 일은 적으며 꼭 체계적으로 기억하고 있는 것 뿐만은 아니다. 서로 모순되는 지식이 존재하기도 하고, 경우에 따라 현실적으로 맞지 않는 노우하

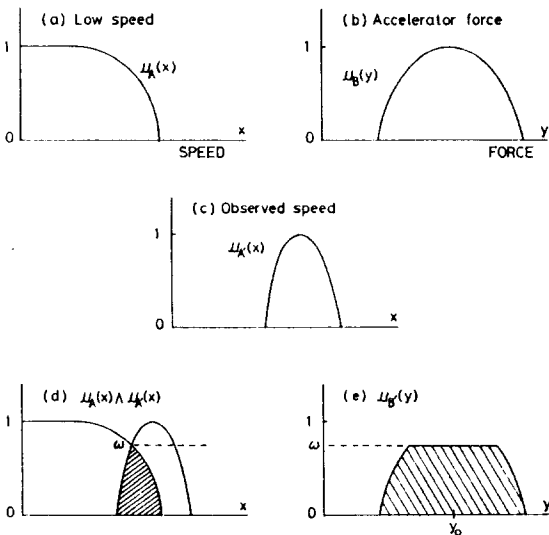


Fig.3. 퍼지제어-자동차 가속기 제어의 예

우도 있다. 이러한 복수의 전문가가 갖고 있는 지식들을 체계화하여 지식 베이스를 구축하려면 지식 엔지니어(knowledge engineer)라 부르는 전문인력의 도움이 필요한 것이다. 그러나 퍼지 전문가 시스템에서는 전문가의 지식을 하나씩 입력시키기만 하면 특별한 지식 베이스의 구조가 필요없기 때문에 나중에 추가하거나 수정하는 일도 매우 간단히 처리되므로 전문적인 지식 엔지니어의 도움이 필요없는 것이다.

(나) 인간의 감각량도 취급한다.

대부분의 전문가들은 기계로서 측정할 수 있는 물리량 이외에도 인간의 5감을 이용한 정보를 사용하여 종합적인 판단을 내리는 경우가 많다. 예를들면 “기계에서 이상한 소리가 난다”든가, “조작 레버가 뻑뻑하다” 등과 같은 경우이다. 종래의 전문가 시스템에서는 다룰 수 없는 이러한 인간의 5감정보를 퍼지 전문가 시스템에서는 매우 쉽게 처리할 수 있다.

(다) 규칙의 수가 적으며 불완전한 정보로도 판단이 가능하다.

기본적으로 퍼지 전문가 시스템에서는 내삽 또는 외삽법 형태의 계산을 하므로 매단계마다 완벽하게 규칙을 정한 종래의 전문가 시스템에 비해 규칙수가 대폭 줄어든다. 또한 판단에 필요한 정보가 불완전하거나 결핍되어 있어도 별로 문제가 없으며 심지어는 서로 모순되는 규칙들이 존재해도 괜찮다.

(라) 판단오차의 위험성을 감소시킨다.

종래의 전문가 시스템에서는 각 단계마다 규칙의 판단을 “Yes” 또는 “No”로서 분명하게 하여야 하며 이 판단에 의해 추론 과정을 따라서 서로 명백히 다른 결론에 도달하도록 되어 있다. 그러나 어떠한 상태를 명확히 경계지어 구분하는 것은 간혹 무리가 따르게 되고 이러한 작은 오차가 끝에 가서는 완전히 틀린 결론을 도출할 수도 있다는 위험성이 따른다. 이에 반하여 퍼지전문가 시스템에서는 판단을 모두가능성으로 표시함으로써 커다란 오류에 빠질 위험성이 감소한다.

(3) 퍼지 전문가 시스템의 응용

퍼지 전문가 시스템의 응용은 퍼지제어의 활발한 응용에 비할 때 아직 초기 단계에 머물러

있다고 말할 수 있다. 그러나 기계작동이나 프랜트 프로세스에서의 감시 또는 이상진단 전문가 시스템에 있어서는 몇가지 성공 사례가 발표되고 있고 또 앞으로도 활발한 응용이 기대된다. 공학분야에서는 주로 설계에 있어서 예를들면 최적설계 전문가 시스템등에 퍼지 전문가 시스템의 응용이 예상된다. 공학 이외의 분야에서는 우선 의료진단에 퍼지 전문가 시스템의 적용이 시도되고 있으며, 데이터 베이스와 정보검색에 있어서도 몇개의 응용 사례가 눈에 띈다. 그러나 앞으로 크게 각광을 받을 것은 경영관리와 영업, 투자등의 분야에서 의사결정을 위한 지원 시스템으로서의 응용일 것으로 보인다. 현재 상업적 범용 퍼지 전문가 시스템들이 몇개 개발되어 있기는 하지만 더욱 실용화 연구가 필요한 것으로 보인다.

3.3 퍼지 정보처리와 퍼지 컴퓨터

앞에서 언급한 바와 같이 퍼지추론의 커다란 장점은 불확실한 정보를 분산적으로 병렬처리할 수 있다는 점이다. 이러한 특성은 특히 사람의 음성을 인식한다든지 글자를 판독하거나, 영상 또는 화면에서 패턴을 매칭시키는 등의 정보처리에 퍼지추론이 효과적으로 적용될 수 있다는 가능성을 나타낸다. 이러한 음성 또는 영상 정보처리를 종래의 디지털 컴퓨터를 사용하여 소프트웨어적으로 처리할 수 없는 것은 아니다. 그러나 이것은 데이터를 주고받는 전송시간과 프로그램의 순차적 동작등의 이유로 해서 작동시간이 매우 많이 걸린다는 단점이 있다. 따라서 퍼지 프로세싱 만을 전용으로 하는 퍼지 컴퓨터가 속속 개발되고 있고 퍼지 전용 컴퓨터의 사용에 의하여 대량의 고속 추론이 요구되는 음성 및 영상정보를 효과적으로 처리할 수 있게 된다.

(1) 퍼지 컴퓨터의 구성

퍼지 컴퓨터라고 한마디로 말하지만 이는 퍼지 마이크로 프로세서 칩의 형태를 가진 것으로부터, 콤팩트 퍼지론(compact fuzzy controller)이라고도 부르는 독립된 소형 컴퓨터의 형태, 또는 메인프레임 컴퓨터 형태의 대형 퍼지 컴퓨터까지 여러 형태의 것이 있다. 그 어떤

형태이든 퍼지 컴퓨터의 주요구성은 애매한 언어 정보를 기억하는 퍼지 메모리와 그 정보를 이용하여 추론을 실행하는 퍼지추론 엔진으로 되어 있으며, 필요에 따라서는 역퍼지 변환기구(defuzzifier)가 부가되기도 한다. 이들 퍼지 컴퓨터의 프로세서로서는 일반 디지털 칩을 사용하는 방법, 퍼지전용 IC칩을 사용하는 방법, 또 많이 사용되지는 않지만 애널로그 회로에 의한 방법등이 있다.

(2) 퍼지 컴퓨터의 특징

이들 퍼지 컴퓨터는 수학적 모델을 세우는 것이 아니라 규칙형 모델을 사용하고, 수치계산은 소속도 함수를 사용한 간단한 계산을 한다는 것과, 복잡한 계산을 통해 최적해를 구하려는 노력을 하지 않고 근사추론에 의해 준최적해를 신속히 구한다는 등의 개념적 특징이 있다.

하드웨어적으로는 분산, 병렬처리를 할 수 있다는 장점에 의해 보통 퍼지 컴퓨터는 1000만 FIPS(fuzzy inference processing per second) 정도의 초고속 계산이 가능하다. 그 외에도 프로그램이 매우 쉽고, 비선형 문제나 시간에 따라 변하는 시스템의 제어에도 사용가능하며, 특히 인간의 언어 명령에 따라서도 작동이 가능하다는 등의 많은 장점이 있다. 이러한 이유로 퍼지 컴퓨터의 개발과 응용은 현재 빠른 속도로 진행되고 있으나 아직도 기본적인 미해결의 문제들이 많이 남아있다.

(3) 퍼지 컴퓨터의 응용

퍼지 이론의 응용은 종래의 디지털 컴퓨터로 실행하는 경우도 있지만 AT & T에서 퍼지추론 전용의 IC칩을 개발한 이후 추론 속도가 매우 빨라져서 퍼지응용 분야가 폭발적으로 늘어나고 있다. 우선 마이크로 프로세서 칩은 주로 가전제품에 실장되어 일례로 세탁물의 질, 세탁기 속의 물의 혼탁 정도등을 감지하여 투입세제량과 세탁시간등을 조절하는 세탁기, 퍼지 제어 에어컨, 전자오븐, 그리고 비디오 카메라의 자동조절등에 응용되고 있다.

소형 퍼지칩은 Omron사의 FZ시리즈를 비롯하여 Fuji-Facom의 MICREX, 明電의 μPORT 시리즈, 日立의 EX시리즈등 많은 회사에서 경

쟁적으로 제품을 내놓고 있어 이들은 주로 종래의 PLC(programmable logic controller)와 같이 공장의 자동화에 성공적으로 응용되고 있다.

끝으로 대형 퍼지 컴퓨터는 주로 인간의 사고와 행동을 모델링하여 복잡한 문제를 해결할 수 있는 차세대 컴퓨터로서 개발연구가 진행중에 있으며, 이 퍼지 컴퓨터의 발전에 따라 인간의 자연어 이해, 영상 이해, 음성인식, 동시 자동 통역등의 분야를 비롯하여 대규모 경영관리와 정보처리 등에 많이 응용될 것이 예상된다.

3.4 조선분야에서의 퍼지이론 응용 가능성

앞에서 언급한 바와 같이 현재 퍼지이론은 주로 퍼지제어와 퍼지 전문가 시스템의 두가지 분야가 산업계에서 활발히 응용되고 있다. 조선분야에 있어서는 아직은 퍼지제어나 퍼지 전문가 시스템이 응용되고 있는 예가 눈에 띄지 않으며 퍼지가 비교적 생소한 단어로 인식되고 있는 실정이다. 그러나 설계 및 제작에 있어 다양한 공학분야를 포함하는 종합 엔지니어링 산업으로 불릴 수 있는 조선에 있어서도 가까운 장래에 퍼지이론의 응용이 활발히 추진될 것은 명약관화한 사실일 것이다. 차체에 조선분야에서의 퍼지이론의 응용가능성을 필자 나름대로 생각해 본다.

(1) 선박조종과 기관의 운전자동화

조선에 있어서 퍼지제어가 가장 먼저 성공적으로 적용될 수 있는 곳이 선박의 운전과 항해의 자동화 분야일 것으로 예상된다. 선박에 있어서 심리학이라 부르는 연구 노력이 계속되고 있는 것은 우리가 너무나 잘 알고 있는 바와 같고, 이와같이 숙련된 선원을 대신하여 보다 최적한 방법으로 선박조종과 항해를 제어할 수 있는 자동운전 시스템이라면 당연히 인간의 사고능력을 모방하는 퍼지제어의 적용이 요구될 것이기 때문이다. 선박자체의 조종뿐만 아니라 퍼지제어가 응용될 수 있는 곳은 주기관을 중심으로한 추진 플랫폼의 최적 자동제어는 물론 각종 보기류에 있어서도 퍼지 가전제품처럼 퍼지제품화가 가능할 것이다.

(2) 생산과정에서 퍼지제어 응용

조선의 생산과정에서 있어서는 철판의 절단,

용접, 조립 그 어느단계에 있어서나 퍼지제어가 적용될 수 있다. 예를들면 주변온도와 습도, 강재의 형상 및 재질, 용접봉의 특성, 용접부위, 자세등을 고려하고 퍼지추론을 통하여 전류의 세기, 용접속도등을 자동제어하는 용접기계 또는 로봇은 곧 개발될 수 있을 것이다. 또 크레인의 자동운전을 비롯하여 조립과정에서는 각종의 퍼지제어 기계가 사용될 수 있을 것이며, 생산기획, 자재관리등에 있어서는 퍼지전문가 시스템의 응용도 가능성이 있다.

(3) 설계분야에서의 퍼지 전문가 시스템

퍼지 전문가 시스템은 우선 설계의 각분야에서 활용될 것이며 특히 설계과정을 온라인화하고 생산과 연결시키는 CAD/CAM 개념의 설계자동화는 퍼지 전문가 시스템의 응용에 매우 적합하다. 종래의 최적 구조설계 시스템이란 주로 강재 소요량을 최소로 하는 개념의 간단한 것이 생각되었으나, 이는 퍼지 전문가 시스템의 응용에 의하여 강재 소요량은 물론 생산과 관리, 애프터서비스등 제반 코스트를 최소로 하는 최적설계 시스템으로 확장될 수 있을 것이다. 또한 퍼지 전문가 시스템은 설계와 꼭 관련이 없더라도 견적을 비롯한 영업관련 업무의 자동화는 물론 일반관리와, 자료관리등 제반분야에서도 응용될 것이 멀지 않은 장래에 가능할 것으로 보인다.

(4) 기타 적용 사례

여기서는 독자들의 이해를 돕기 위하여 필자가 진행하고 있는 퍼지응용 연구과제의 예를 구체적으로 몇개 들어본다.

(가) 고속선의 선실 감요장치

고속선의 선실부를 갑판과 분리하여 유압실린더 위에 부양시킨 것으로서 선체의 운동에 따라 유압실린더를 적절히 신축시켜 선실의 동요를 최소화 하는 장치이다. 선체와 선실의 운동 및 유압시스템의 제어방정식에 대한 파력의 입력등을 종래의 수식적 방법으로 모델링하지 않고 퍼지제어를 적용한다.

(나) 퍼지제어 자동조절 흡진기

이는 기진력의 주파수가 변화하는데 따라 자체의 고유진동수를 변화시켜 항상 기진력과의 공진상태를 유지함으로써 흡진효과를 최대로

하는 자동조절 흡진기이다. 이미 개발 완료된 기존 방식의 자동조절 흡진기의 제어부에 퍼지제어를 응용하여 제어성능을 향상시키는 연구과제이다.

(다) 회전기계의 이상진단/감시 전문가 시스템

선박의 엔진-축계 시스템과 같은 회전기계를 온라인 감시하여 이상이 감지되면 원인을 진단하고 간단한 처방까지 내릴 수 있는 감시 전문가 시스템이다. 여기에 사용하는 전문가 시스템은 퍼지 전문가 시스템으로하여 자체 개발할 계획이다.

결 언

우리나라 사람들은 서구 사람들과 같이 냉정한 논리에 따라 사물을 판단하고 엄격한 규칙에 따라 행동하기 보다는 직감이나 감정에 따르기 쉬운 편이며 모든일을 “적당히” 처리한다는 평가를 많이 받고 있다. 이러한 “적당히” 처리하는 기질적 특성이 어쩌면 퍼지이론 연구와 응용에 있어서는 더 많은 성취를 이룰 수 있는 장점이 될 수도 있다고 생각되어 국내에서의 퍼지연구가 더욱 활성화 될 것을 기대해본다. 특히 조선분야에도 많은 응용 가능성이 있다고 보여지기 때문에 퍼지이론의 응용이 우리나라 조선분야의 발전에 조금이라도 도움이 되기를 바라고 싶다.

참고문헌

1. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, pp.338~353, 1965.
2. Mamdani, E., "Application of Fuzzy Algorithm for Control of a Single Dynamic Plant", Proc. IEEE, 121, 12, pp.1584~1588, 1974.
3. 박민용, 최항식 역, 퍼지제어 시스템, (M. Sugeno 원저), 대영사, 1990.
4. 廣田薰 외, "실천 퍼지제어-최신 시스템과 그 사용방법", 자동화기술 특집, 월간자동화기술, 1991. 1.
5. 浦崎一明, "フアジイによる 故障診断・豫知システム", 機械技術 38, 13, pp.49~53, 1990. 11.